



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 41 23 916 A 1

21 Aktenzeichen: P 41 23 916.4
22 Anmeldetag: 19. 7. 91
43 Offenlegungstag: 23. 1. 92

51 Int. Cl. 5:
G 01 N 21/84
G 01 J 1/08
G 01 B 11/30
G 01 M 11/00
G 02 B 19/00
G 06 K 9/20
G 01 N 21/88

DE 41 23 916 A 1

30 Innere Priorität: 32 33 31
19.07.90 DE 40 23 026.0 17.01.91 DE 41 01 266.6

71 Anmelder:
Malz, Reinhard, 7012 Fellbach, DE

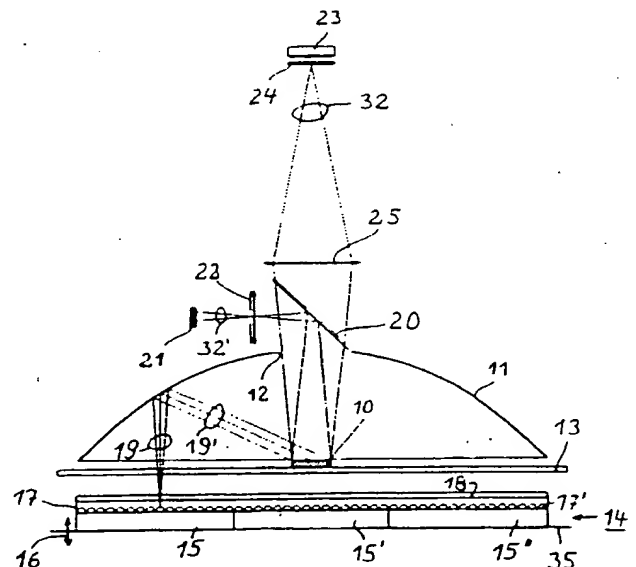
74 Vertreter:
Mierswa, K., Dipl.-Ing., Pat.- u. Rechtsanw., 6800
Mannheim

72 Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum beleuchtungsdynamischen Erkennen und Klassifizieren von Oberflächenmerkmalen und -defekten eines Objektes und Vorrichtung hierzu

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum beleuchtungsdynamischen Erkennen und Klassifizieren von Oberflächenmerkmalen und -defekten eines Objektes (1), wobei die zu detektierende Oberfläche mittels mehrerer Beleuchtungsquellen (2, 3) beleuchtet wird, die eine unterschiedliche Positionierung im Raum haben und die Beleuchtungsquellen sequentiell das Objekt beleuchten und das von der Oberfläche in jedem Zeitpunkt jeweils diffus zurückgeworfene oder reflektierte Licht mittels einer Videokamera (7), die eine Bildspeichereinrichtung (9) aufweist, als raumzeitlich verschiedene Bilder aufgenommen werden. Das Objekt (1) ist von einem Beleuchtungshimmel umgeben, dessen flächige Lichtquellenanordnung (2) sich mit vorgegebbarer Winkel- und Intensitätsabstufung frei programmieren läßt, mittels derselben eine variable Anzahl beliebiger Lichtfunktionen erzeugt wird, die das Objekt nacheinander beleuchten, wobei das Objekt zusätzlich aus einem begrenzten Raumwinkelbereich mit einer weiteren programmierbaren Lichtquelle (3) über eine Kollimationsoptik so beleuchtet wird, daß für alle Punkte einer ebenen Objektoberfläche die Reflexionswinkelbedingung erfüllt wird und eine geeignet gewählte Punktquelle über die als ebener Spiegel gedachte Oberfläche in die Kamerapupille abgebildet wird. Die entstehenden Bilder werden von der Videokamera (7) aufgenommen und in einer Bildspeichereinrichtung (9) abgespeichert; die Grauwertfolgen des aufgenommenen Bildstapels können einer ...



DE 41 23 916 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum beleuchtungsdynamischen Erkennen und Klassifizieren von Oberflächenmerkmalen und -defekten eines Objektes gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und Vorrichtung hierzu.

Stand der Technik

In dem Aufsatz von R. Malz: Der Einsatz schneller Beleuchtungsoperationen für die robuste Merkmalsextraktion und Segmentierung in der industriellen Objekterkennung und Qualitätsprüfung, Informatik-Fachberichte "Mustererkennung 1988", DAGM-Symposium 1988, Springer-Verlag, Seite 270 bis 276, wurde eine Beleuchtungsanordnung vorgeschlagen, die aus vier Beleuchtungsmodulen besteht:

einem Auflichtmodul zur schattfreien Ausleuchtung diffus streuender Objekte, realisiert mit einer Punktlichtquelle, die über einen Teilerspiegel in den Beobachtungsstrahlengang der CCD-Matrixkamera eingespielt ist, einem Streiflichtmodul zur Aufhellung von Kanten und diffus streuenden Oberflächenfehlern, realisiert durch eine oder mehrere Ringlampen, einem Durchlichtmodul zur Aufhellung der Innenflächen und Ränder von Objektdurchbrüchen, und einem Reflexionslichtmodul zur gleichmäßigen, reflektorischen Hellfeld-Beleuchtung von ebenen oder schwach gekrümmten Oberflächen, bestehend aus einem Beleuchtungsarray mit Fresnel-Linse und einem Teilerspiegel.

Im gleichen Aufsatz wurde ein weiteres Beleuchtungssystem vorgeschlagen, das mit Hilfe eines zweidimensional abgelenkten und in seiner Intensität elektrisch modulierten Halbleiterlasers während der Belichtungszeit eines einzelnen Kamerabildes beliebig positionierbare Punkt-, Cluster-, Linien- und Flächenlichtquellen erzeugt, die mit jedem Bildwechsel verändert werden können.

Merkmale mit anisotropen Streu- und Reflektionseigenschaften, wie Kanten oder Kratzer, liefern nur dann einen maximalen Bildkontrast, wenn sie aus einem kleinen Raumsektor beleuchtet und betrachtet werden, der sich je nach Orientierung der Merkmale ändert. Des weiteren muß beleuchtungstechnisch der gesamte Raumwinkel verfügbar sein, weil ansonsten nicht sämtliche Merkmale oder Fehler optimal beleuchtet werden können.

Beide genannten Beleuchtungssysteme genügen daher noch nicht den Anforderungen, die an ein Inspektionssystem gestellt werden, das mit hohen Taktraten an ständig wechselnden Objekttypen und Objektorientierungen unterschiedliche Fehlertypen mit maximalem Kontrast detektieren und klassifizieren soll.

Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der genannten Gattung zu schaffen, mit der bei Objekten, wie Metallteilen, Keramikscheiben, Blechen, Halbleiter-Chips, Hybridbausteinen, SMD-Schaltungen, Dichtungen etc. Merkmale und Defekte der Oberfläche, wie Kanten, Texturen, Knicke, Farbflecke, matte Stellen, Welligkeiten, Risse u. a. m., mit hoher Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit detektiert und klassifiziert werden können.

Darstellung der Erfindung und deren Vorteile

Die Lösung der Aufgabe besteht in den Merkmalen des Anspruchs 1. Weitere Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen; eine erfindungsgemäße Vorrichtung in Anspruch 6 gekennzeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist den Vorteil auf, daß mit diesem Merkmale und Defekte der Oberfläche eines Objektes, wie Kanten, Texturen, Knicke, Farbflecke, matte Stellen, Welligkeiten, Risse u. a. m., mit maximal möglichem Signal-Rauschverhältnis bzw. mit maximalem Kontrast detektiert und unabhängig von der jeweiligen Bildumgebung pixelweise, d. h. für jeden Oberflächenpunkt getrennt, klassifiziert werden können, weil die erhaltene Information jeweils in der zeitlichen Grauwertsequenz enthalten ist. Durch die vollständige Bereitstellung aller Beleuchtungswinkel wird in vorteilhafter Weise erreicht, daß die Merkmale mit Optimalfiltern bzw. Matched-Filtern extrahiert werden können.

Bei ring-, sektor- oder ringsektorförmigen Verteilungen der Beleuchtungsfunktionen und wenn als Merkmalsanalyse eine Fourier- oder ähnliche Transformation verwendet wird, wird vorteilhaft eine rotationsinvariante Klassifizierung der Merkmale erhalten. Mit einem Auswertprogramm kann dann das Ergebnis der DFT-Operation graphisch dargestellt werden und die unterschiedlichen Fehlerklassen in π -periodische ($D_1 > D_2$) oder 2π -periodische ($D_1 < D_2$) oder nichtperiodische mit geringen Änderungen in der Grauwertsequenz (großes D_0 , kleines $D_1 + D_2$) oder durchgehende dunkle (alle Spektralwerte gering) Grauwertsequenzen unterschieden werden.

Streut die Oberfläche isotrop, dann sind zur rotationsinvarianten Klassifizierung gerichteter Merkmale kreissymmetrische Beleuchtungssequenzen (Fig. 2) zweckmäßig. Ist jedoch die Oberflächenstruktur, zum Beispiel durch gerichtete Bearbeitung, wie Schleifen, nicht mehr rotationssymmetrisch, dann kann zur optimalen Signal-trennung von Oberflächen und gesuchtem Merkmal der Einsatz von elliptischen Beleuchtungsfunktionen vorteilhaft sein. Dabei muß die Strukturorientierung zur Ausrichtung der Ellipsen-Hauptachsen bekannt sein, was vorher mit Testbeleuchtungsfunktionen bestimmt werden kann.

In vorteilhafter Weise können die einzelnen Lichtquellen innerhalb des Beleuchtungshimmels, (der vorzugsweise kugelförmig ist und auf dem sich beliebige Punkt-, Linien- oder Flächenlichtquellen befinden können),

durch Farblichtquellen ersetzt sein, vorzugsweise durch drei Farblichtquellen grün, rot und blau. Auf diese Weise kann der Aufwand der Bildaufnahme mindestens um den Faktor 3 reduziert werden, weil ein Farbbild einer Sequenz von mindestens drei Graubildern entspricht.

Zur Durchführung des Verfahrens wird vorteilhafterweise der Nullpunkt des Beleuchtungskoordinatensystems in diejenige Punktlichtquelle gelegt, die über die als Spiegel gedachte Objektebene in die Kameraquelle abgebildet wird und damit zum Hellfeld führt. Kleinere Verkippen der Objektebene können durch eine relative Translation der Beleuchtungskonfiguration mit geringem Aufwand korrigiert werden, da die Beleuchtungsanordnung kartesisch und damit translationsinvariant ist.

Zum Verständnis des Verfahrens ist die Betrachtung der verallgemeinerten Beleuchtungs-Bildmatrix $I(x,y,\xi,\varphi)$ hilfreich, die den Zusammenhang zwischen der Leuchtdichtematrix $L(\xi,\varphi)$ und der Bildmatrix $B(x,y)$ beschreibt und die gesamte fotometrische Information über das Objekt enthält, die mit der erfinderischen Vorrichtung überhaupt gewonnen werden kann. Das Beleuchtungsarray erlaubt es, den 4-dimensionalen Beleuchtungs-Bildraum $I(x,y,\xi,\varphi)$ in einer diskreten Form $I(x,y,i,j)$ zu erzeugen. Lichtpunkt für Lichtpunkt wird angesteuert und das jeweils entstehende Bild in den Bildspeicher abgelegt. Mit einer Benutzeroberfläche können verschiedene Projektionen oder Schnittebenen dieses 4-dimensionalen Datenraums betrachtet werden.

Für die pixelweise Untersuchung der Objektoberfläche eines Objektes spielt die lokale, d. h. für feste x - und y -Koordinaten gewonnene Streu-, Reflektions- und Schattencharakteristik eine entscheidende Rolle. Ein matter Fleck, der die Streukeule verbreitert, hat eine gleichmäßige Streucharakteristik ohne bevorzugte Richtung (isotrope Streucharakteristik). Punkte eines richtungsabhängigen Oberflächenmerkmals zeichnen sich durch eine anisotrope Streucharakteristik aus und unterscheiden sich von solchen mit isotroper Streucharakteristik. Beispielsweise streut ein Oberflächenpunkt, der zu einem gerichteten Oberflächenmerkmal gehört (Kratzer oder Kante) vornehmlich das Licht in die Videokamera, das senkrecht zu seiner Orientierung eintrifft. Ein Punkt, der die Neigung der reflektierenden Oberfläche verändert, bevorzugt Streulicht aus einem bestimmten Sektor der Leuchtdichtematrix. Bei einem Fehlerpunkt mit verkippter spiegelnder Oberfläche erzeugt ein einziger Lichtpunkt des Beleuchtungshimmels einen hellen Grauwert in der Videokamera.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren können nun Bilder mit möglichst geringer Redundanz und maximalem Aussagewert erzeugt werden. Dabei eignen sich im einfachsten Fall Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung als Konzepte zur Extraktion der Oberflächenmerkmale, wobei diejenige Beleuchtungsfunktion gewählt wird, die einen Maximalkontrast für die Fehlerquelle liefert. Ein optimales Beleuchtungsfeld wird erhalten, indem die Streucharakteristik als Beleuchtungsfunktion aufgefaßt wird. So ist beispielsweise die Hellfeldbeleuchtung mit einer Punktquelle ein Optimalfilter für einen idealspiegelnden Oberflächenpunkt, bei dem das Grauwerteergebnis einer Kamera maximal ausfällt, bei jeder anderen Oberflächenstruktur hingegen absinkt. Bei Oberflächenpunkten mit stark anisotrop streuenden Eigenschaften, wie Kratzer oder Kanten, die in der Regel mit verschiedenen Orientierungen auftreten, wird aus einer Richtung senkrecht zur Orientierung des Objektmerkmals beleuchtet, so daß das Helligkeitssignal in der Kamera deutlich stärker ist, als bei einer Beleuchtung aus anderen Richtungen. Wegen der Richtungsabhängigkeit der Streucharakteristik ist somit ein optimales Beleuchtungsfeld nur in der Lage, anisotrop steuernde Merkmale in einer bestimmten Richtung zu detektieren. Deshalb werden in diesem Fall Beleuchtungssequenzen aus einer Vielzahl von Raumwinkeln eingesetzt. Dazu wird die Leuchtdichtematrix in Sektoren aufgeteilt, die nacheinander angesteuert werden. Dadurch werden rotationsinvariante bzw. von der Orientierung des Objektes unabhängige Ergebnisse erhalten, weil zwischen verschiedenen Arten von Streucharakteristiken unterschieden werden kann.

Wird als Vorrichtung zur Bildung des kuppelförmigen Beleuchtungshimmels ein Hohlspiegel, insbesondere Parabolspiegel, verwendet, so besitzt dieser den Vorteil, daß aufgrund der Abbildungsgesetze die vom Parabolspiegel mehr oder weniger horizontal reflektierten Lichtstrahlen, wie für eine ortsunabhängige Streuung gefordert, in Richtung zum Brennpunkt und zum Objekt parallel oder mehr oder weniger parallel verlaufen, so daß der virtuelle Abstand der diffus beleuchtenden Lichtquellen vom Objekt sehr groß ist und in erster Näherung als praktisch unendlich gelten kann. Das mehr oder weniger vertikal auf das Objekt einfallende Strahlenbündel ist hingegen konvergent, so daß die Lichtquellen über die als spiegelnde Ebene gedachte Objektoberfläche in die Ebene der Kamerapupille abgebildet werden. Damit können (wie beim eigens dafür realisierten Reflektions-Lichtmodul) spiegelnde Oberflächen gleichmäßig im Hellfeld beleuchtet werden. Zu dieser speziellen Anpassung kann der virtuelle Abstand der Lichtquellen variiert werden: Der Abstand der unteren Lichtquellen, wie LED-Arrays, vom Parabolspiegel ist entscheidend für die Strahlenformation, die auf das Objekt im Brennpunkt auftritt, ob es sich also um konvergentes, divergentes oder paralleles Licht handelt, weshalb der Abstand vorteilhaft variabel ist. Der geometrische Ort der Punktlichtquelle, die im Brennpunkt paralleles Licht erzeugt, ist ein Paraboloid oder ähnlich geformt. Konvergentes bzw. divergentes Licht wird dann im Brennpunkt erzeugt, wenn sich die Lichtquelle unterhalb bzw. oberhalb des geometrischen Ortes befindet; paralleles Licht zum Brennpunkt wird erzeugt, wenn die Lichtquelle sich auf diesem geometrischen Ort befindet.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Vorrichtung äußerst kompakt ist. Der Hohlspiegel kann des weiteren vorzugsweise einstückig aus transparentem Glas oder Kunststoff ohne Aussparung bestehen und in seinem obersten Bereich unverspiegelt sein zur Bildung einer Durchtrittsöffnung für das der reflektorischen Beleuchtung dienende Licht der Beleuchtungseinrichtung.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

Es zeigt

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Beleuchtungsvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens an einem Beleuchtungshimmel in Form einer Halbkugel und

Fig. 2 eine Draufsicht auf den Beleuchtungshimmel zur Darstellung der verschiedenen anwählbaren Sektoren.

in denen sich jeweils eine oder eine Mehrzahl von Lichtquellen befinden können

Fig. 3 einen Algorithmus eines Flußdiagramms für Pixel-Klassifikation mit $(N + 2)$ Beleuchtungen

Fig. 4 einen schematischen Querschnitt durch eine Beleuchtungsvorrichtung bestehend aus einem zweidimensional gekrümmten Beleuchtungshimmel mit einer Beleuchtungsanordnung und

Fig. 5 eine weitere Beleuchtungsvorrichtung mit zweidimensional gekrümmt Beleuchtungshimmel und einer gestalterisch abweichenden Beleuchtungsanordnung und Objektzuführung.

Ausführung der Erfindung

Über eine Basis 8 (**Fig. 1**) wölbt sich ein halbkugelförmiger Beleuchtungshimmel, in welchem eine Vielzahl von Lichtquellen 2 angeordnet sind, vorzugsweise in verschiedene Sektoren $s_{m,n}$ gemäß der **Fig. 2** aufgeteilt, wobei die Lichtquellen in ihrer Intensität einzeln freiprogrammierbar sind. Des weiteren befindet sich im Beleuchtungshimmel ein Beleuchtungsmodul, welches eine Mehrzahl von Lichtquellen 4 aufweist, die vorzugsweise als kartesisches Array angeordnet sind. Vor dem Beleuchtungsmodul 3 befindet sich eine Optik 5, die das von einer einzigen oder von wenigen Lichtquellen 4 ausgesandte Licht dergestalt bündelt, daß es zur gleichmäßigen Hellfeldausleuchtung ebener, reflektierender Oberflächen 1 geeignet ist. Das Beleuchtungsmodul 3 dient insbesondere für die Welligkeit- und Knickprüfung an reflektierenden Oberflächen und somit zur Klassifizierung von Oberflächenneigungen. Die Lichtquellen 2 dienen zur diffusen Beleuchtung.

Das von den Lichtquellen 2 und 4 auf das Objekt 1 geworfene und von diesem gestreute und reflektierte Licht wird von einem Objektiv 6 einer Videokamera aufgefangen und auf eine CCD-Matrix der Videokamera geleitet; die CCD-Matrix 7 ist an eine Bildspeichereinrichtung 9 angeschlossen, welche die Graubildfolgen speichert. Nach Abspeichern einer bestimmten, vorgebbaren Anzahl von Bildern bzw. Farbbildern innerhalb einer Bildspeichereinrichtung 9 der Videokamera werden die Bildinhalte bezüglich der Beleuchtungskordinaten einer Fouriertransformation, vorzugsweise eine 2D-Fouriertransformation, unterworfen, um Betrag und Phase der Beleuchtungswinkelabhängigkeit des einzelnen Bildpunktes zu bestimmen.

Diese Klassifikationsmethode baut auf den prinzipiellen Eigenheiten der Grauwertsequenz auf, die bei Durchlaufen der sektoriellen Beleuchtungen erhalten werden. Die Grauwertsequenz wird als endlicher Ausschnitt einer periodischen, zeit- und wertdiskreten Funktion angesehen, die in ihre Basiskomponenten zerlegt werden kann; Betrag und Phase der Komponenten werden durch diskrete Fouriertransformation (DFT) der Anzahl N Grauwerte der Sequenz erhalten.

Die Sektorzahl N soll dabei für die Fouriertransformation eine Potenz von 2 sein und hängt gemäß dem Abtasttheorem von der Periode der kompliziertesten relevanten Streucharakteristik ab:

$$N \geq 2 \times 2\pi / T_{\min}$$

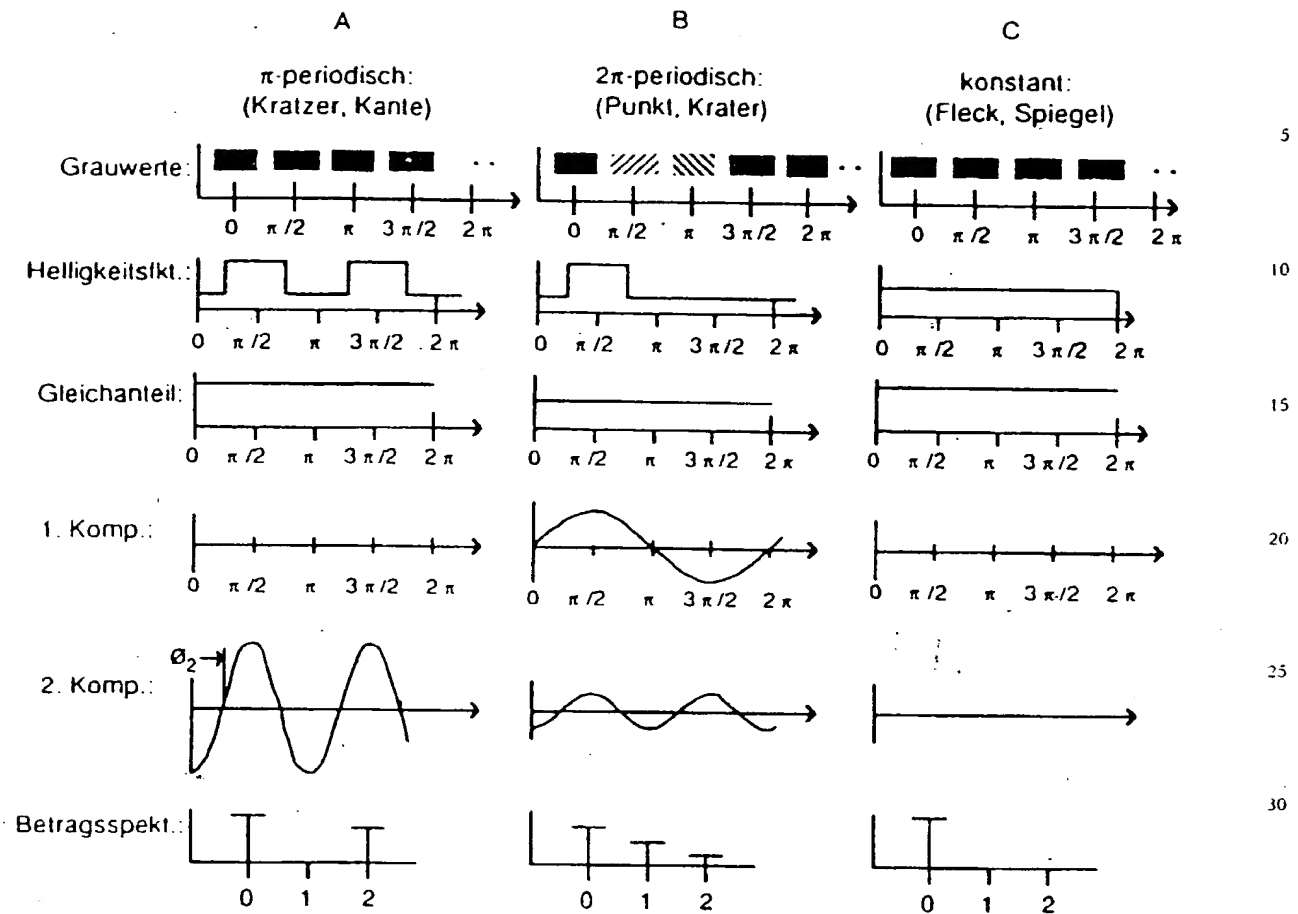
Hat man es mit π -periodischen Phänomenen zu tun, muß mit mindestens vier Sektoren beleuchtet werden. Für $N = 4$ können somit beispielsweise die Grauwertsequenzen durch Beleuchtung aus vier Raumsektoren gewonnen und anschließend einer Fouriertransformation unterzogen werden. Die Ergebnisse dieses Vorgangs für drei Fehlerklassen sind nachfolgend dargestellt und lassen sich wie folgt beschreiben:

(A) Die Grauwertsequenz eines Kratzers ist π -periodisch (2 Maxima), da das Licht aus 2 senkrecht zu seiner Orientierung liegenden Beleuchtungssektoren in die Kamera gestreut wird. Das Betragsspektrum weist eine große 2. Komponente auf, die Phase der 2. Komponente ϕ_2 gibt die Orientierungsrichtung des Merkmals an.

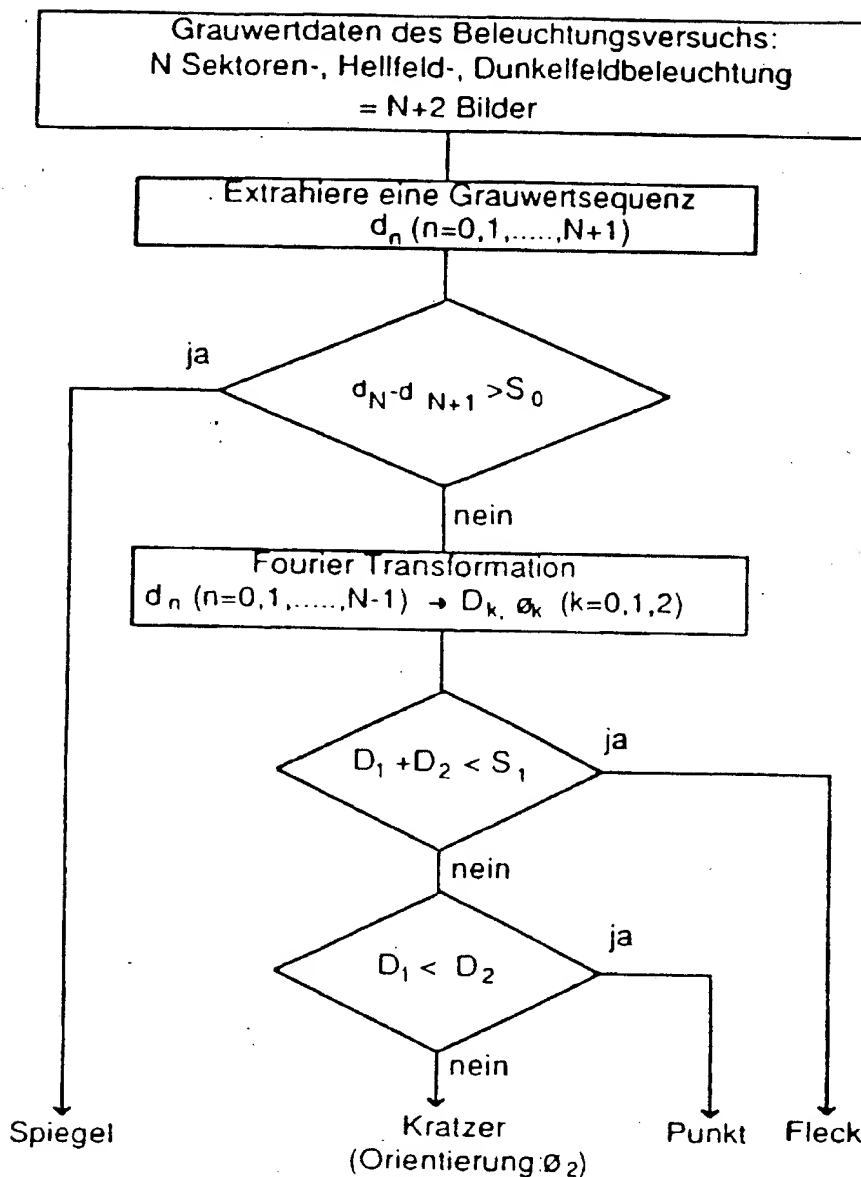
(B) Die Grauwertsequenzen eines Punktes ist 2π -periodisch, da er das Licht aus einem bestimmten Beleuchtungssektor in die Kamera streut. Das Betragsspektrum hat eine große 1. Komponente.

(C) Ein isotrop streuendes Objektmaterial (Spiegel, Fleck) hat eine konstante Grauwertsequenz. Sein Betragsspektrum besteht nur aus einem Gleichanteil, der ein Maß für die Streuintensität darstellt.

Nachfolgend ist eine Spektralanalyse dreier exemplarischer Grauwertsequenzen gezeigt, wobei die horizontale Koordinate den azimutalen Beleuchtungswinkel beschreibt.



Mit Hilfe der Fouriertransformation kann nun ein Oberflächenpunkt bzw. ein Pixel des Bildes der Videokamera klassifiziert werden, wobei nachfolgend ein erfindungsgemäßer möglicher Algorithmus in Form eines Flußdiagramms für die schnelle hierarchische Klassifizierung in beispielsweise vier idealisierte Fehlerklassen, wie Spiegel, Punkt, Kratzer und Fleck, gezeigt sind. Ein unversehrter Punkt der Oberfläche (Spiegel-Punkt) kann sofort ausgesondert werden, indem Hell- und Dunkelfeldbild mit in Betracht gezogen werden. In diesem Fall ist die Klassifikation ohne die Fouriertransformation beendet.



Gemäß der Fig. 4 wölbt sich über einer Ebene 35 oder Basis ein Beleuchtungshimmel, der vorzugsweise ein innenverspiegelter Parabolspiegel 11 oder ein innenverspiegelter Spiegel mit etwa paraboloidischer Form ist oder ähnlich zweidimensional gekrümmt ist und der, vorzugsweise im obersten Bereich der Wölbung, eine Öffnung 12 zum Lichtdurchtritt besitzt; diese Öffnung kann auch aus einem unverspiegelten, transparenten Materialfeld des Spiegels bestehen.

Für weniger genaue Merkmalsextraktionen kann der Beleuchtungshimmel halbkugelförmig, für beste Merkmalsextraktionen angepaßt zweidimensional gekrümmt sein.

Unterhalb der Öffnung 12 des Spiegels 11 befindet sich auf einem transparenten Träger 13 ein zu analysierendes Objekt 10.

Unterhalb des Trägers 13 befindet sich auf der Ebene 35 eine Beleuchtungseinrichtung 14, die aus einer Mehrzahl von kartesischen Lichtquellenfeldern 15, 15', 15'' besteht, wobei jedes Lichtquellenfeld eine Mehrzahl von einzelnen Lichtquellen 17, 17' aufweist. Die Lichtquellenfelder 15, 15', 15'' sind vorzugsweise LED-Arrays, deren einzelne Lichtquellen 17, 17' einzeln oder in Gruppen sequentiell ansteuerbar sind. Direkt oberhalb der Lichtquellenfelder 15, 15', 15'' kann ein dieselben abdeckender Diffusor angeordnet sein, der ein Tiefpass ist und dazu dient, daß die Lichtquellen ortskontinuierlich sind, um das Abtasttheorem zu erfüllen.

Die Beleuchtungseinrichtung oberhalb des Spiegels 11 und der Öffnung 12 besteht aus wenigstens einer Reflexions-Lichtquelle 23 und ist vorzugsweise ebenfalls ein LED-Array, der eine Optik 25 zur reflektorisches Beleuchtung des Objektes (10) aus einem begrenzten Raumwinkel vorgeschaltet ist und vor der sich ebenfalls ein Diffusor 24 befinden kann. Die im Strahlengang der von der Beleuchtungseinrichtung 23 ausgesandten Lichtstrahlen 32 befindliche Optik ist beispielsweise eine Kollimationslinse 25, auf die ein Teilerspiegel 20 folgt. Seitlich des Teilerspiegels ist eine Videokamera 21 mit Bildspeichereinrichtung angeordnet, die eine Optik-Blenden-Einrichtung 22 aufweisen kann. Die Beleuchtungseinrichtung 23 und die Videokamera 21 sind dergestalt

aufeinander abgestimmt, daß die Konvergenz des Lichtbündels 32 gleich der Konvergenz des Beobachtungsbündels 32' ist.

Die Beleuchtungseinrichtung 23 dient der mehr oder weniger vertikalen Beleuchtung flacher, reflektierender Objekte, wobei das Lichtstrahlenbündel 32 durch die Kollimationslinse 25 und nach Passieren des Teilerspiegels 20 sowie der Öffnung 12 innerhalb des Spiegels 11 als konvergentes Lichtbündel auf das Objekt 10 auftritt, von dort reflektiert und durch den Teilerspiegel 20 auf die Videokamera 21 geworfen wird. Die Beleuchtungseinrichtung 23 arbeitet analog der in Fig. 1 beschriebenen Beleuchtungseinrichtung 3.

Von den einzelnen Lichtquellen 17, 17' der Lichtquellenfelder 15, 15', 15'' werden Lichtbündel 19 zum Spiegel 11 gesandt, die von dort als parallele Lichtbündel 19' auf das Objekt 10 fallen, welches sich im Brennpunkt oder ungefähr im Brennpunkt des Spiegels 11 befindet. Diese mehr oder weniger horizontal einfallenden Lichtbündel 19' werden gestreut und durch den Teilerspiegel 20 auf die Videokamera 21 gelenkt. Von oben hingegen trifft auf das Objekt 10 konvergentes Licht ein, so daß die erfindungsgemäße Vorrichtung die theoretischen Voraussetzungen für das gleichzeitige Vorhandensein von horizontalen, parallelen Beleuchtungs-Lichtstrahlen und von vertikalen, konvergenten Beleuchtungs-Lichtstrahlen gleichermaßen erfüllt.

Alternativ kann statt dem Kamerastrahlengang der Beleuchtungsstrahlengang abgelenkt verlaufen; alternativ zur Linse kann auch ein Spiegel zur Kollimation vorhanden sein. Ebenso können die in Hellfeld gebrachten Objektoberflächen sphärisch gekrümmt sein, wenn die Kollimationsoptik entsprechend angepaßt ist.

Fig. 5 zeigt eine abgewandelte Beleuchtungseinrichtung 26, bestehend aus einer Mehrzahl von kartesischen Lichtquellenfelder 28, 28', die wie die Lichtquellenfelder der Fig. 4 aufgebaut sein können. Die Lichtquellenfelder 28, 28' sind ebenfalls mit einem Diffusor 30 abgedeckt. Die Beleuchtungseinrichtung 26 sowie der Diffusor 30 weisen mittig je eine Aussparung 29 bzw. 31 auf, durch die ein Objektträger 33 mit dem zu detektierenden Objekt 10 in vertikaler Richtung verschoben werden kann. Durch eine einfache Höhen- und Seitenverstellbarkeit kann somit das Objekt 10 bezüglich des Brennpunktes des Spiegels 11 vertikal und gegebenenfalls auch horizontal korrigiert werden. Ansonsten entspricht die Ausgestaltung des Spiegels 11 sowie der Beleuchtungseinrichtung 23 und der Videokamera 21 derjenigen der Fig. 1.

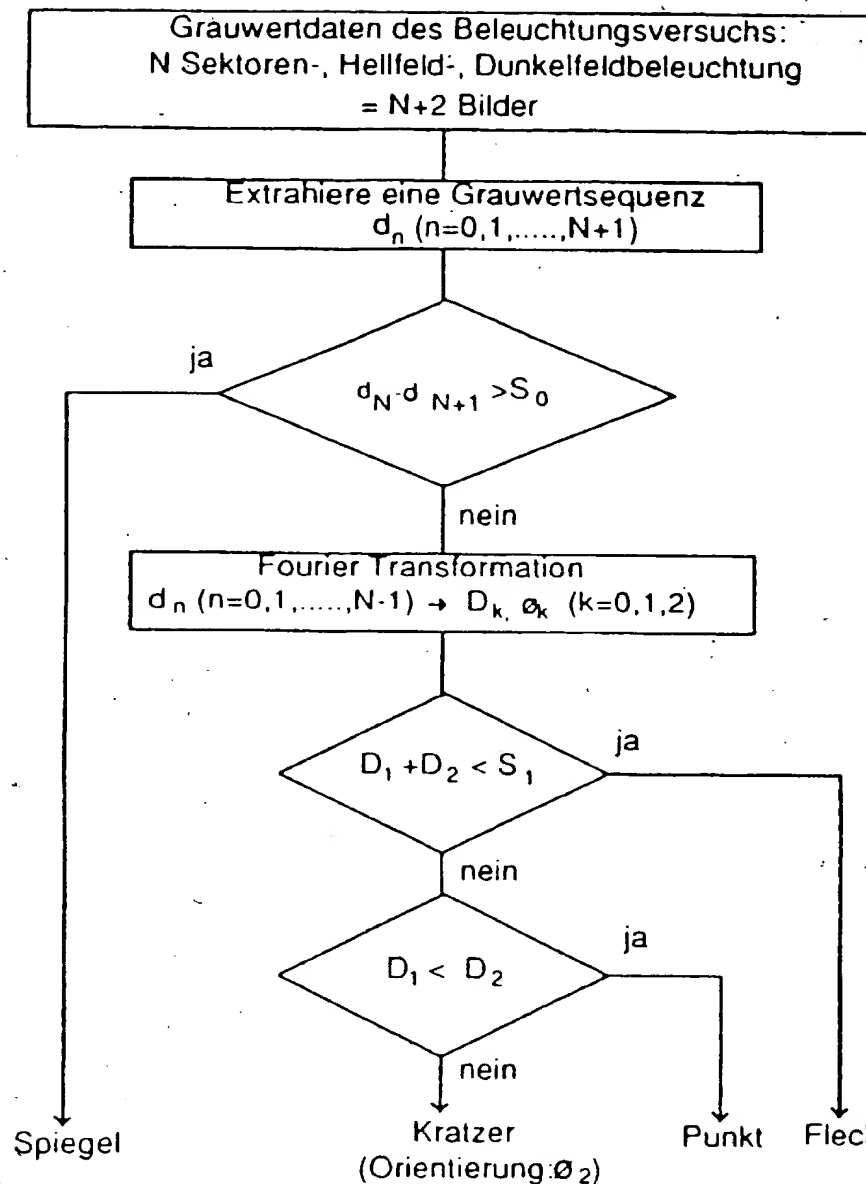
Die Größe und Anzahl der optimal erforderlichen Sektoren hängt von der Objektfunktion mit der niedrigsten Halbwertsbreite ab. Die geeignete Sektorzahl kann gefunden werden, indem das Verhältnis zwischen Merkmals-signal und Oberflächensignal über der Zahl der Sektoren aufgetragen wird. Dabei zeigt sich nach einem steilen Anstieg meist eine rasche Sättigung; bereits mit 3 bis 8 Bildern lassen sich leistungsfähige Fehlererkennungen realisieren, die gegenüber statisch beleuchteten Einzelbildern von wesentlichem Vorteil sind.

Liste der Bezugszeichen

1 Objekt	
2 Lichtquellen	
3 Beleuchtungsmodul	
4 Lichtquellen	
5 Optik	
6 Objektiv	
7 CCD-Matrix	
8 Objektebene	
9 Bildspeichereinrichtung der Video-Kamera	
10 Objekt	
11 Spiegel	
12 Öffnung	
13 transparenter Träger	
14 Beleuchtungseinrichtung	
15, 15', 15'' ebene Lichtquellenfelder	
16 Bewegungsdoppelpfeil	
17, 17' einzelne Lichtquellen	
18 Diffusor	
19 Lichtbündel einer einzelnen Lichtquelle zum Spiegel	
19' vom Spiegel reflektiertes Lichtbündel einer einzelnen Lichtquelle	
20 Teilerspiegel	
21 Videokamera mit Bildspeichereinrichtung	
22 Optik-Blenden-Einrichtung	
23 Beleuchtungseinrichtung	
24 Diffusor	
25 Optik, z. B. Kollimationslinse	
26 Beleuchtungseinrichtung	
27 Bewegungsdoppelpfeil	
28, 28' ebene Lichtquellenfelder	
29, 31 Aussparungen	
30 Diffusor	
32 Lichtbündel	
32' Beobachtungsbündel	
33 Objektträger	
34 Bewegungsdoppelpfeile	
35 Ebene	

Patentansprüche

1. Verfahren zum beleuchtungsdynamischen Erkennen und Klassifizieren von Oberflächenmerkmalen und -defekten eines Objektes (1), wobei die zu detektierende Oberfläche mittels mehrerer Beleuchtungsquellen (2, 3) beleuchtet wird, die eine unterschiedliche Positionierung im Raum haben und die Beleuchtungsquellen sequentiell das Objekt beleuchtet und das von der Oberfläche in jedem Zeitpunkt jeweils diffus zurückgeworfene oder reflektierte Licht mittels einer Videokamera (7), die eine Bildspeichereinrichtung (9) aufweist, als raum-zeitlich verschiedene Bilder aufgenommen werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Objekt (1) von einem Beleuchtungshimmel umgeben ist, dessen flächige Lichtquellenanordnung (2) sich mit vorgebbarem Winkel- und Intensitätsabstufung frei programmieren läßt, mittels derselben eine variable Anzahl beliebiger Lichtfunktionen erzeugt wird, die das Objekt nacheinander beleuchtet und das Objekt zusätzlich aus einem begrenzten Raumwinkelbereich mit einer weiteren programmierbaren Lichtquelle (3) über eine Kollimationsoptik so beleuchtet wird, daß für alle Punkte einer ebenen Objektoberfläche die Reflexionswinkelbedingung erfüllt wird und eine geeignet gewählte Punktquelle über die als ebener Spiegel gedachte Oberfläche in die Kamerapupille abgebildet wird, und die entstehenden Bilder von der Videokamera (7) aufgenommen und in einer Bildspeichereinrichtung (9) abgespeichert und die Grauwertfolgen des aufgenommenen Bildstapels einer Merkmalsanalyse unterzogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungsfunktionen elliptische ring-, sektor- oder ringsektorförmige Verteilungen aufweisen und die Merkmalsanalyse eine Fourier- oder ähnliche Transformation ist, die eine rotationsinvariante Klassifizierung der Merkmale bewirkt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede Lichtquelle innerhalb des Beleuchtungshimmels aus einer Mehrzahl von getrennt ansteuerbaren Farblichtquellen, vorzugsweise grün, rot und blau, besteht und gleichzeitig je ein Bild mit den verschiedenen überlagerten Farben aufgenommen wird, wobei ein Farbbild jeweils mindestens drei aufeinanderfolgende Graubilder ersetzt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kompensation oder Messung einer geringfügigen Verkipfung der Objektebene der Nullpunkt des Beleuchtungskoordinatensystems in diejenige Punktlichtquelle gelegt wird, die über die als Spiegel gedachte Objektebene in die Kamerapupille abgebildet wird und damit zum Hellfeld führt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Algorithmus der hierarchischen Fehlerklassifikation mit Fouriertransformation wie folgt ist:



6. Vorrichtung zum beleuchtungsdynamischen Erkennen und Klassifizieren von Oberflächenmerkmalen und -defekten eines Objektes (1), wobei die zu detektierende Oberfläche mittels mehrerer Beleuchtungsquellen (2, 3) beleuchtbar ist, die eine unterschiedliche Positionierung im Raum haben und die Beleuchtungsquellen sequentiell das Objekt beleuchten und das von der Oberfläche in jedem Zeitpunkt jeweils diffus zurückgeworfene oder reflektierte Licht mittels einer Videokamera (7) und einer Bildspeichereinrichtung (9) als raum-zeitlich verschiedene Bilder aufnehmbar ist, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) ein Beleuchtungshimmel (Kuppel) aus einer Vielzahl von frei programmierbaren Lichtquellen (2), die zu beliebig geformten Beleuchtungsfunktionen zusammenfaßbar sind, die zur sequentiellen Beleuchtung des Objektes aus vorgebbaren Raumwinkelbereichen dienen,

b) wenigstens eine programmierbare Lichtquelle (4) mit einer Linsen- oder Spiegeloptik (5) zur gleichmäßigen reflektorischen Hellfeld-Beleuchtung von ebenen oder schwach gekrümmten Oberflächen,

c) ein Algorithmusgenerator, der die von der Videokamera aufgenommenen Bild- bzw. Farbbildstapel einer Transformation zu unterwerfen imstande ist, womit bei geeigneter Wahl der Beleuchtungsfunktion die gesuchten Oberflächenmerkmale und Fehlertypen mit maximalem Signal-Rausch-Abstand detektierbar und klassifizierbar sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungsfunktionen aus einer Anzahl von Ringsektoren ($s_{m,n}$) bestehen, deren damit erzeugte Grauwertbildfolgen einer 1D- oder 2D-Fouriertransformation bezüglich der Beleuchtungskoordinaten bzw. der Ringsektorindices m und n unterworfen werden, wobei mittels der erhaltenen Koeffizienten eine rotationsinvariante Klassifizierung der Merkmale durchgeführt wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Beleuchtungshimmel ein innen verspie-

5 gelter, konkav gekrümmter Hohlspiegel (11) ist, der in seinem obersten Bereich eine Aussparung (12) aufweist, oberhalb derselben sich die zur reflektorischen Beleuchtung dienende Beleuchtungseinrichtung (23) befindet und daß die zur diffusen Beleuchtung dienende Beleuchtungseinrichtung (14, 26) aus ebenen Lichtquellenfeldern (15, 15', 15''; 28, 28') besteht, die sich unterhalb des Hohlspiegels befinden, wobei das Objekt (10) unterhalb der Aussparung (12) und ungefähr mittig innerhalb der ebenen Lichtquellenfelder innerhalb des Sammelpunktes bzw. der Sammelfläche des Hohlspiegels angeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlspiegel ein Parabolspiegel (11) ist und sich das Objekt (10) im Brennpunkt bzw. ungefähr innerhalb desselben befindet.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlspiegel ein Kugelspiegel oder ein Ellipsoidspiegel oder ein ähnlich gekrümmter Spiegel ist und sich das Objekt (10) im Brenn- bzw. Mittelpunkt bzw. ungefähr innerhalb desselben befindet.

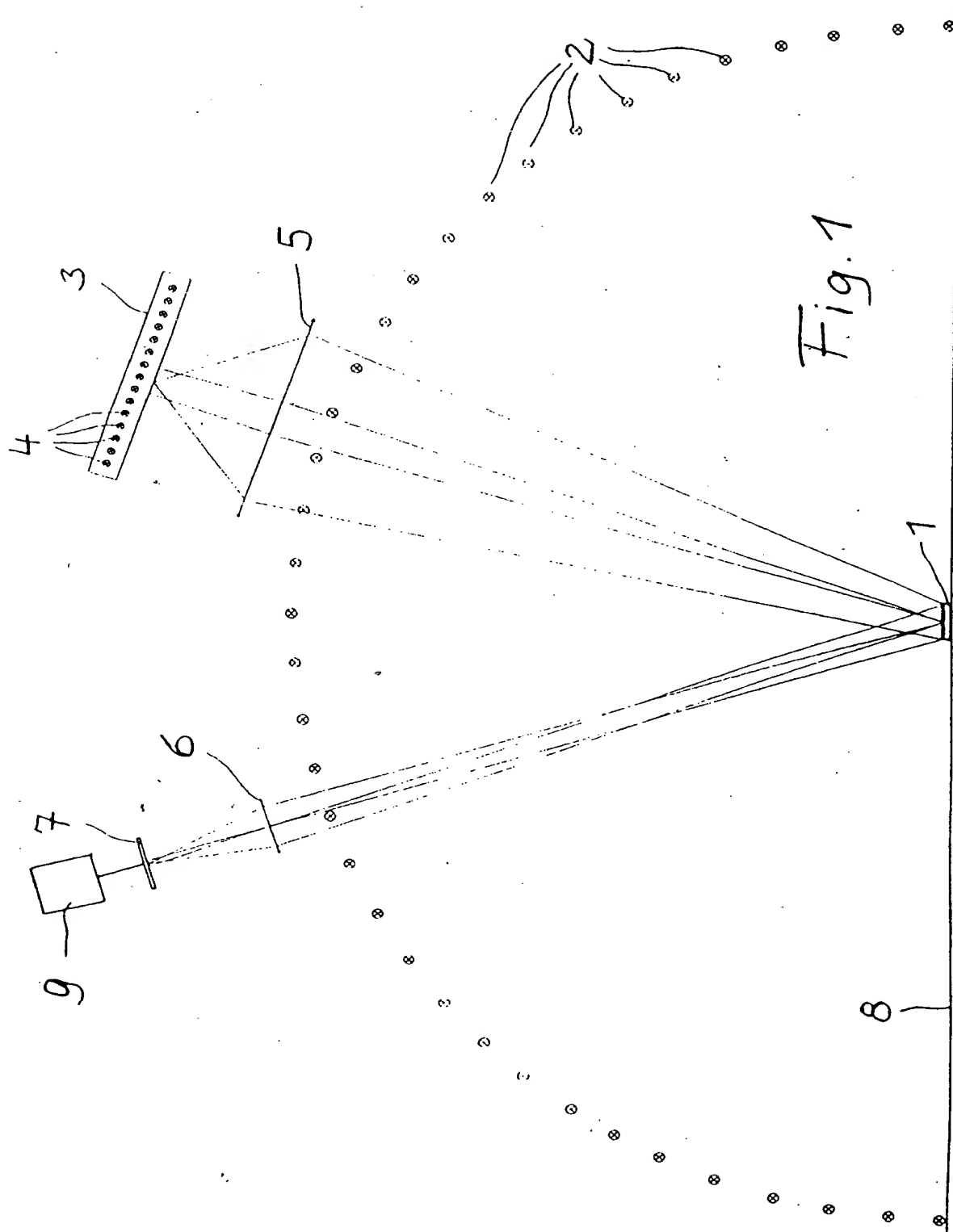
11. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquellenfelder ebene LED-Arrays (15, 15', 15''; 28, 28') sind, die auf einer gemeinsamen Ebene (35) unterhalb des Hohlspiegels angeordnet und mit einem Diffusor (18, 30) abgedeckt sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Lichtquellenfeldern (15, 15', 15'') und dem Hohlspiegel (11) ein transparenter Träger (13) zum Plazieren des Objektes (10) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungseinrichtungen (14, 23, 26), insbesondere die LED-Arrays (15, 15', 15''; 28, 28'), frei programmierbar sind.

14. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zur reflektorischen Beleuchtung dienende Beleuchtungseinrichtung (23) aus einem LED-Array besteht, vor dem ein Diffusor und oberhalb der Aussparung (12) des Hohlspiegels (11) ein Teilerspiegel (20) angeordnet ist, der das vom Objekt (10) reflektiert Licht auf die Videokamera (21) leitet.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



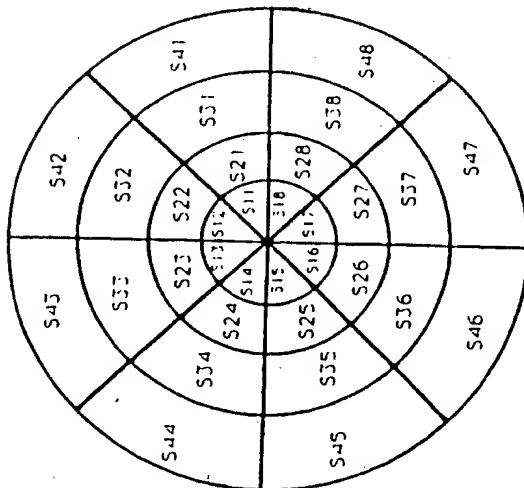
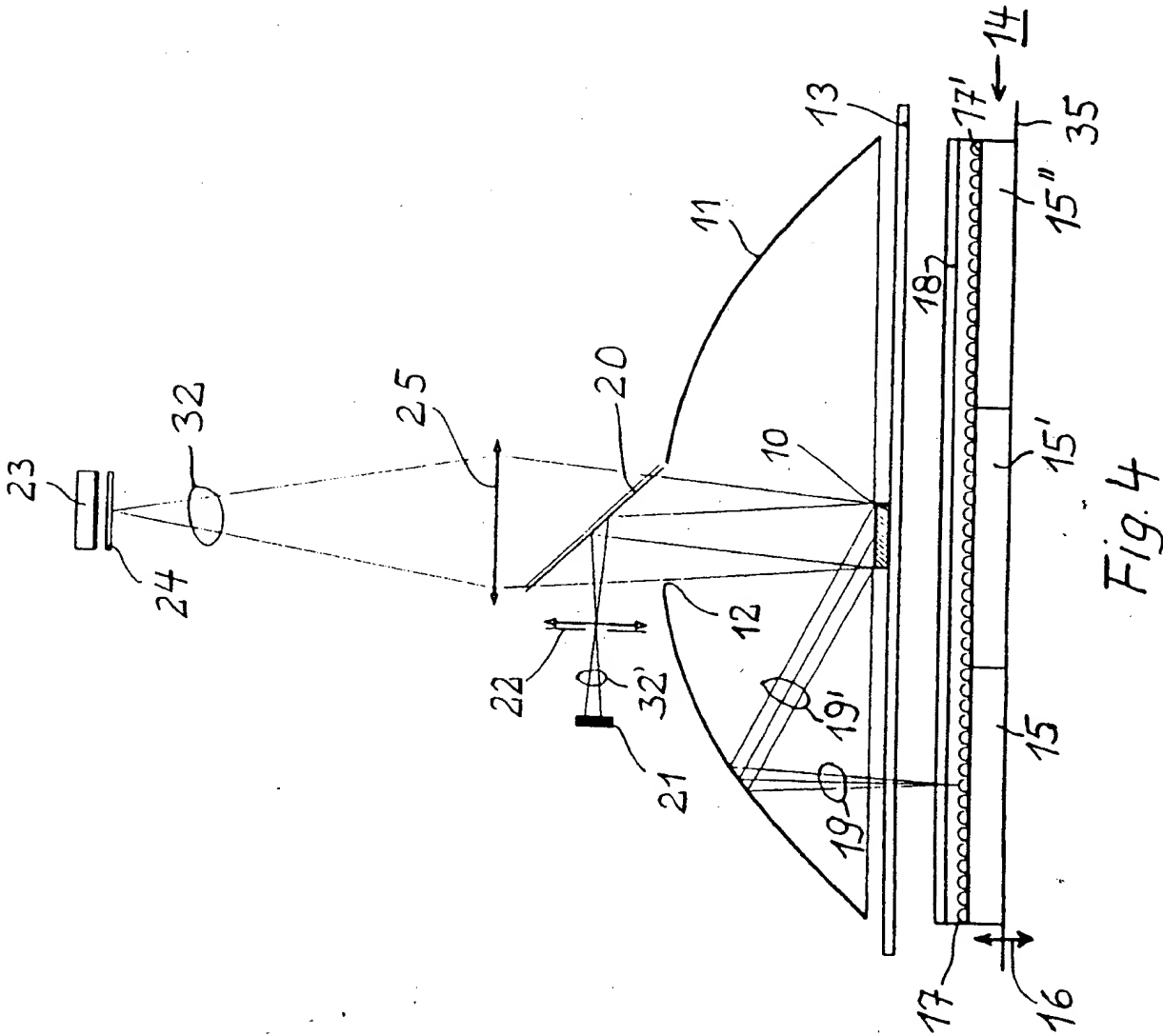


Fig. 2

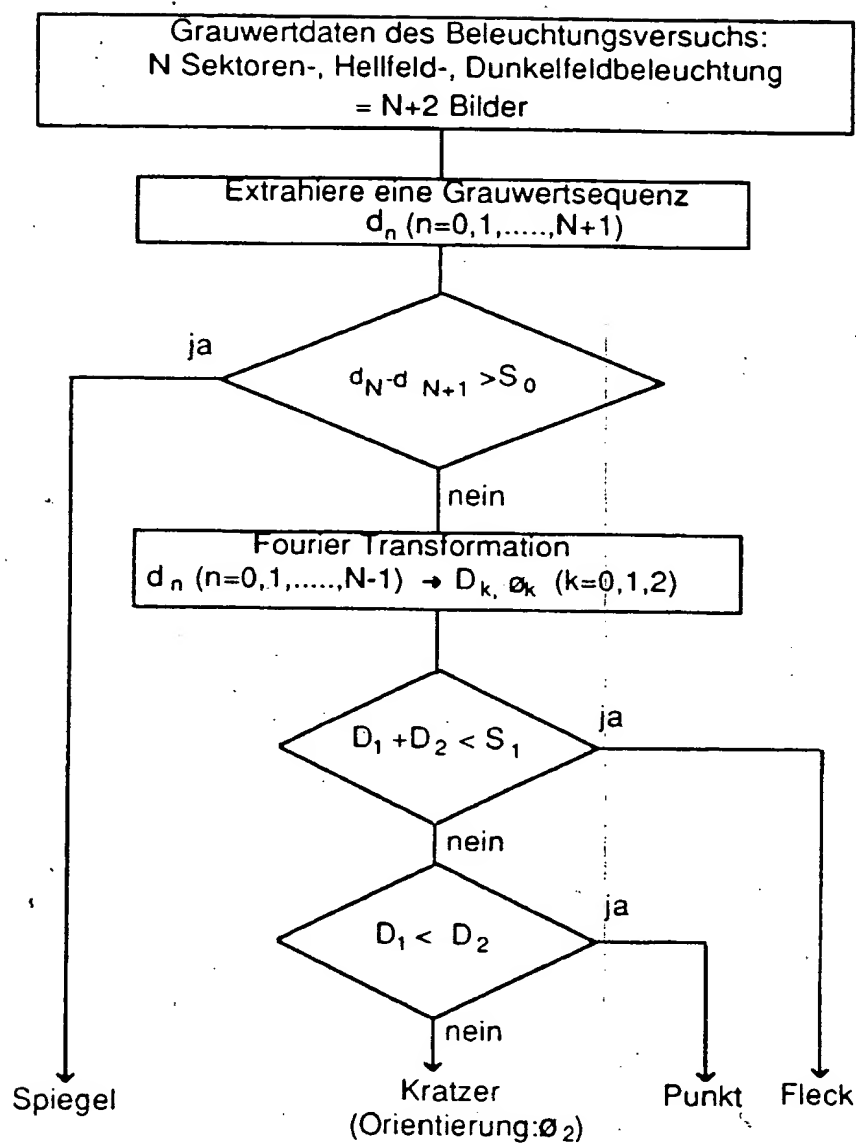


Fig. 3

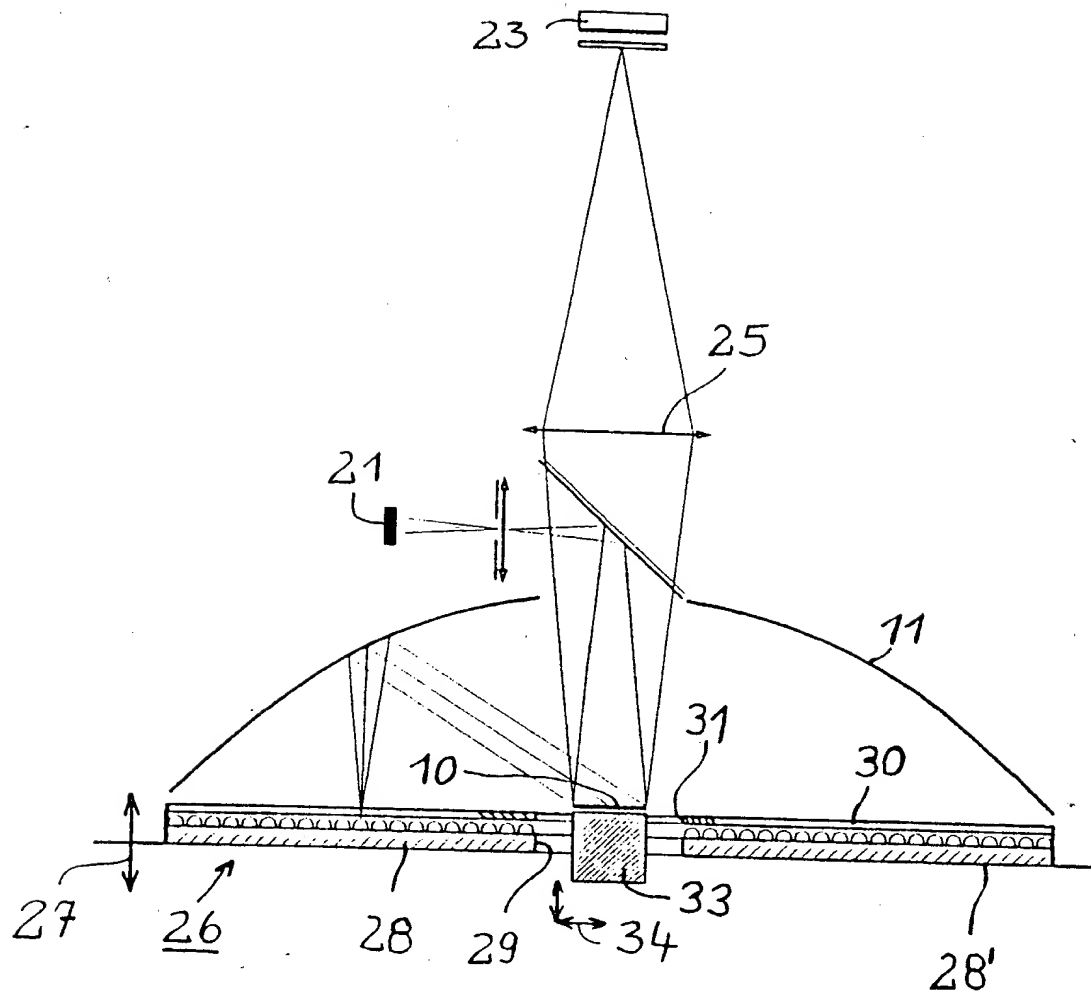


Fig. 5